

**Б. П. СЕРЕДА, И.В. КРУГЛЯК, А.С. ГАЙДАЕНКО**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ИНОВАЦИОННЫХ АЛИТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В статье рассматриваются получение коррозионностойких алитированных покрытий на стальных и медных подложках. Коррозионностойкие покрытия получали в режиме теплового самовоспламенения СВС-шихт. Данный вид защиты является наиболее перспективным и менее дорогостоящим. В настоящей работе исследовали возможность нанесения покрытий в неизотермических условиях. Сталь с нанесенными защитными алитированными покрытиями, показали увеличение коррозионной стойкости в 1,6–1,8 раза, по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях при эксплуатации оборудования в условиях коксохимического производства.

**Ключевые слова:** самораспространяющийся высокотемпературный синтез, сталь, коррозионная стойкость, алитирование, коксохимическое производство.

**Б. П. СЕРЕДА, І.В. КРУГЛЯК, А.С. ГАЙДАЄНКО**

## **ОТРИМАННЯ ІНОВАЦІЙНИХ АЛІТІВАННИХ ПОКРИТТІВ НА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРАЦЮЮЧИХ В УМОВАХ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

У статті розглядаються отримання корозійностійких алітуванню покриттів на сталевих підкладках. Корозійностійкі покриття отримували в режимі теплового самозаймання СВС-шихт. Даний вид захисту є найбільш перспективним і менш дорогим. Даний вид захисту є найбільш перспективним і менш дорогим. У даній роботі досліджували можливість нанесення покриттів в неізотермічних умовах. Сталь з нанесеними захисними алітованими покриттями, показали збільшення корозійної стійкості в 1,6–1,8 рази, в порівнянні з матеріалом, обробленим при ізотермічних умовах при експлуатації обладнання в умовах коксохімічного виробництва.

**Ключові слова:** високотемпературний синтез, сталь, корозійна стійкість, алітування, коксохімічне виробництво.

**B. P. SEREDA, I.V. KRUGLYAK, A.S. GAYDAENKO**

## **OBTAINING OF THE INNOVATIVE ALITED COATINGS ON CONSTRUCTION MATERIALS WORKING IN THE CONDITIONS OF COXOCHEMICAL MANUFACTURE**

The article discusses the production of corrosion resistant aluminized coatings on steel and copper substrates. Corrosion-resistant coatings were obtained in the thermal self-ignition mode of SHS-charge. This type of protection is the most promising and less expensive. In this paper, we investigated the possibility of applying coatings in non-isothermal conditions. The composition of the saturating medium was chosen based on the requirements for corrosion-resistant coatings and the peculiarities of the formation of protective coatings on steel and copper materials. Steel coated with protective aluminized coatings, showed an increase in corrosion resistance of 1.6–1.8 times, compared with the material treated under isothermal conditions during operation of equipment in terms of coke production. Coke-chemical production is characterized by a very high aggressiveness of the enterprise atmosphere, thermal effects on the working bodies of machines and structures, abrasiveness of coke dust, adhesion to the surface of condensate equipment, resins, fuses, etc. For the production environment of a coke-chemical enterprise, uneven distribution of aggressive substances in the working area is typical. To protect structural materials from corrosive effects, an innovative method has been proposed for obtaining protective corrosion-resistant coatings in the thermal self-ignition mode under conditions of self-propagating high-temperature synthesis.

**Keywords:** self-propagating high-temperature synthesis, steel, corrosion resistance, aluminizing, coke-chemical production.

**Введение.** Для деталей, работающих при воздействии коррозионных сред коксохимического производства, актуальным является защита их поверхности. Для защиты конструкционных материалов от коррозионного воздействия, в работе предложен инновационный метод получения защитных коррозионностойких покрытий в режиме теплового самовоспламенения в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). [1–2]

Алитирование – (от нем. фирменного термина alitieren, от Al – алюминий) процесс насыщения алюминием поверхностных слоев стальных и чугунных изделий с целью повышения жаростойкости (окалиностойкости до  $t$  1100°C) и атмосферной коррозионно стойкости. Алитирование производят в твердой, жидкой и газовой средах, однако в промышленности наибольшее применение находит способ алитирования в порошкообразных смесях и ваннах с расплавленным алюминием (твердая среда) [3–4]. Нанесенное покрытие имеет на порядок более высокую стойкость к абразивному износу, чем любой лакокрасочный материал. Для повышения защиты

возможно комплексное использование металлического покрытия с последующей пропиткой полимерной композицией. Металлическое покрытие обеспечивает защиту от коррозии и износа, полимер закрывает поры и обеспечивает дополнительную защиту поверхности. Комплексное покрытие обеспечивает 20–25 лет службы без коррозии.

Защита от коррозии и износа поверхностей погружного нефтедобывающего оборудования. Погружные электроцентробежные насосы и насосно-компрессорные трубы работают на глубинах в тысячи метров, подвергаясь износу при спускоподъемных операциях, соляной и сероводородной коррозии при повышенных температурах. Высоко-скоростное напыление порошкового нержавеющей сплава на основе железа позволяет надежно защитить корпус оборудования, а близость электрохимических потенциалов позволяет предотвратить подпленочную коррозию.

Безаварийная эксплуатация конструкций зданий и сооружений является обязательным условием стабильного развития предприятия.

Диффузионному легированию поверхности меди и ее сплавов алюминием посвящено больше число работ. Природа фаз, возникающих при диффузии алюминия в медь, определяется бинарной диаграммой состояния медь-алюминий. Из анализа диаграммы состояния Cu-Al следует, что диффузия алюминия в медь должна происходить прежде всего в  $\alpha$ -фазе. Растворимость алюминия в меди изменяется от 7,5 вес % при 1035 °C до 9,4 вес % при комнатной температуре.

Помимо  $\alpha$ -фазы в системе установлено наличие следующих фаз:  $\beta$ -фазы твердого раствора на основе электронного соединения  $AlCu_3$ , имеющего О.Ц.К. решетку,  $\gamma_2$ -фазы – твердого раствора на основе соединения  $Cu_9Al_4$  (31,3 – 35,3 ат % Al) и  $Cu_{32}Al_{19}$  (35,8 – 38,1 ат % Al),  $\delta$ -фазы, содержащей 38,1 – 40,9 ат % Al. При формировании алитированного слоя принципиально возможно образование вышеуказанных фаз. В вышеуказанных работах процесс осуществляется газовым методом контактным способом, и исследователи наблюдали образование в диффузионном слое почти всех перечисленных фаз, в зависимости от условий насыщения.

Анализ возрастного состава производственных объектов ПАО «Авдеевский КХЗ» показывает, что около 25% имеют срок службы свыше 35 лет, 20% характеризуются возрастом свыше 25 лет, 40% – от 15 до 25 лет и 15% – до 15 лет. Анализ зарубежного опыта в области снижения рисков аварийных ситуаций техногенного характера свидетельствует, что система техногенно-экологической безопасности должна включать показатели технического состояния основных производственных фондов [5].

Коксохимическое производство характеризуется весьма высокой агрессивностью атмосферы предприятия, термическими воздействиями на рабочие органы машин и конструкции, абразивностью коксовой пыли, адгезией к поверхности аппаратуры конденсата, смол, фусов и т. п. Для производственной среды коксохимического предприятия свойственна неравномерность распределения агрессивных веществ в рабочей зоне. Источники агрессивного воздействия на материал конструкции можно разделить на источники энергетического и химического воздействия. Состав и концентрация компонентов эксплуатационной среды в результате физико-химических процессов коксохимического производства соответствует средне- и сильноагрессивным воздействиям на строительные конструкции зданий и сооружений. Обеспечение постоянного уровня надежности и долговечности эксплуатируемых конструкций связано с эффективной организацией службы технической эксплуатации, которая осуществляет надзор за конструкциями собственными силами или путем привлечения специализированных организаций.

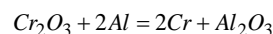
Целью надзора является своевременное выявление и правильная оценка существующих дефектов и повреждений стальных конструкций. Надзор включает текущие и периодические осмотры конструкций, а также специальное обследование.

Изменение характеристик процесса разрушения протекает в различные периоды эксплуатации основных металлоконструкций и в различных зонах завода по-разному. Поэтому важно установить некоторые средние значения этих характеристик и общие закономерности процесса разрушения основных металлоконструкций на коксохимических предприятиях.

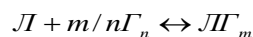
Работоспособность и долговечность покрытия в значительной степени зависит от защитного действия образующегося оксидного слоя, который препятствует диффузионному рассасыванию покрытия. Поскольку при высокотемпературном взаимодействии с кислородом преимущественно образуются оксиды легкоокисляющихся компонентов покрытия (т.е. имеющих высокое сродство к кислороду), то наиболее часто в состав коррозионностойких покрытий вводят такие элементы как *Cr, Ti, Al, Si, Zr* и др., имеющие высокое сродство к кислороду и образующие на поверхности тугоплавкие оксиды этого элемента ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и др.) [6].

**Объекты и методы исследования.** В настоящей работе исследовали возможность нанесения покрытий в неизотермических условиях. В качестве материалов, на которые наносили коррозионностойкие покрытия, были выбраны: сталь 45 и бронза БрАЖМц10-3-1,5.

Состав насыщающей среды выбирали исходя из требований к коррозионностойким покрытиям и особенностям формирования защитных покрытий на стальных и медных материалах. Для постановки экспериментов применяли порошки: использовали  $Cr_2O_3$  – оксид хрома (III), Al – алюминий марки АПВ,  $Al_2O_3$  – оксид алюминия (III),  $J_2$  – металлический йод дисперсностью 200-350 мкм. Высокая температура процесса, необходимая для быстрого протекания реакций, создаётся в результате освобождения химической энергии восстановления оксида хрома алюминием по реакции



Возможность осуществления химических транспортных реакций в волне горения основана на том, что в процессе горения происходит последовательная смена температурных режимов, и температура в каждой точке смеси возрастает непрерывно от  $T_0$  до  $T_{max}$ . [7-8]. В этих условиях, при очень малой длине диффузионного пути, резко возрастает интенсивность диффузионного переноса газообразных компонентов, которые участвуют в химических транспортных реакциях, которые протекают по реакции типа



где  $L$  – легирующий компонент покрытия;  $\Gamma_n$  – галоген (активатор процесса);  $L\Gamma_n$  – летучий галогенид.

Для переноса и осаждения элемента  $L$  необходимо наличие сдвига равновесия реакции в соответствующую сторону, при этом элемент и изделие должны находиться в неодинаковых температурных условиях. Если скорости химических

реакций не лимитируют процесс, то концентрация активных газов-переносчиков может оказывать влияние на интенсивность роста диффузионного слоя. Для оценки роли субгалогенидов при поверхностном насыщении и факторов, влияющих на равновесную концентрацию субгалогенидов, необходимо термодинамически проанализировать химические реакции, возможные в реакционном пространстве [10–12]

Открытие и исследование самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволило связать структуру образующихся при горении материалов с кинетикой быстрых экзотермических реакций.

Твердое пламя, как физико-химическое явление, может реализовываться при соблюдении двух условий:

- смесь исходных реагентов должна быть высокодисперсной и обладать большим запасом химической энергии (высокой теплотворной способностью) для того, чтобы обеспечить необходимые для быстрого взаимодействия твердых веществ высокие температуры горения [9];

- продукты горения должны быть тугоплавкими, чтобы при высоких температурах горения находиться в твердом состоянии.

Твердое пламя в чистом виде – редкое явление, оно может иметь место только в системах с очень развитой поверхностью контакта реагентов. Пример тому – горение смеси плакированных порошков, в которых частицы одного вещества покрыты слоем другого, что обеспечивает достаточно большую удельную поверхность контакта реагентов, если, конечно, частицы достаточно малы. Микронные размеры в таких условиях являются удовлетворительными. Если частицы не плавятся, то взаимодействие между реагентами происходит твердофазным путем в режиме реакционной диффузии. Низкие значения констант массопереноса в твердой фазе могут быть скомпенсированы большой поверхностью контакта. Высокая температура является важным интенсифицирующим фактором. Режим чистого твердого пламени может быть реализован в случае, при котором все вещества (не только исходные и конечные, но и промежуточные) находятся в твердом состоянии.

Близкие с точки зрения реакционной диффузии процессы могут протекать в системах, в которых один реагент является порошком, а другой газом. Здесь также поверхность контакта реагентов должна быть высокой. Наиболее сложна картина в реальных порошковых смесях, состоящих из частиц разного сорта. Малая поверхность контакта частиц не способна обеспечить чисто твердофазный режим горения, и распространение волны горения возможно лишь при наличии дополнительных интенсифицирующих факторов, таких как действие регенерируемых газовых молекул – переносчиков (обеспечивающих газотранспортный перенос реагентов) или контактное плавление за счет образования легкоплавких эвтектических смесей.

Возможны ситуации, когда один из реагентов полностью плавится или газифицируется, однако продукты при этом образуются полностью в твердом состоянии. Именно твердое пламя с разнообразием форм превращения вещества легло в основу метода СВС. Организация СВС заключается в создании порошковой смеси и окружающей среды, обеспечивающих экзотермичность взаимодействия при локальном инициировании процесса (зажигании). Затем происходит самопроизвольное распространение волны реакции (горения) и остывание синтезированного продукта. СВС – процессы различаются химической природой реагентов, составом и структурой шихты, параметрами окружающей среды, возможными внешними воздействиями – энергетическими и механическими. Все эти факторы влияют на условия процесса, характер и скорость распространения фронта горения, зонную структуру волны горения (тепловую и концентрационную), механизм химических и структурных превращений в волне, максимальную температуру, пост – процессы в продуктах горения (структурные превращения и остывание). В настоящее время методом СВС получено свыше 500 различных продуктов. Это карбиды, бориды, нитриды, силициды, интерметаллиды, халькогениды, гидриды, оксиды и др. К этому перечню следует добавить твердые растворы элементов, твердые растворы бинарных соединений (типа карбонитридов), нестехиометрические фазы, фазы высокого давления и др.

Химия СВС – процессов играет важную роль в выборе систем и создании условий для решения той или иной задачи синтеза.

Традиционная химия горения рассматривает преимущественно реакции термического разложения и окисления всевозможных топлив: натуральных и синтетических, органических и неорганических, твердых, жидких и газообразных.

Подбор горючих систем основан на поисках наиболее калорийных составов, при горении которых выделяется как можно больше энергии. Обычно химическая энергия топлив выделяется в виде тепловой энергии газообразных продуктов горения, пути превращения которой в другие виды энергии хорошо известны.

Подбор СВС – систем основан на принципах технологического горения. Основной признак – образование полезного продукта в результате экзотермической реакции, причем величина теплового эффекта представляет интерес лишь в той мере, в какой способна обеспечить сам процесс горения. Такой подход привлекает к рассмотрению большое количество разнообразных горючих систем и химических реакций. Тем не менее, наибольшее распространение получили реакции синтеза – как основная (или единственная) химическая стадия процесса.

Покрывтия, наносимые в СВС-процессах при протекании сопутствующих газотранспортных

реакций, весьма своеобразны. Они состоят из пленки наносимого продукта как при газофазном осаждении и широкой переходной диффузионной (градиентной) зоны как при диффузионном насыщении. Как следствие этого, газотранспортные СВС-покрытия обладают лучшими чертами своих аналогов – они имеют свойства наносимого материала (т.е. могут быть намного более износостойкими или жаростойкими, чем основа) и высокую адгезионную прочность. Диффузионное насыщение в порошковых смесях относится к категории процессов порошковой металлургии.

Наиболее распространены в настоящее время два типа СВС-покрытий: хромборидные и хромкарбидные на стальные детали и нитридтитановые на твердые сплавы (режущие пластины). Для первого типа промышленным аналогом являются диффузионное насыщение, для второго – газофазного осаждения (ионно-плазменное напыление в установках типа «Булат»)[9].

Замечательные черты СВС и его экстремальные физические параметры определили высокую технологическую и экономическую эффективность СВС-технологии. Высокая температура горения является одним из важнейших факторов. Она выше, чем в ПС, но ниже, чем в плазмохимическом синтезе (ПХС) и находится в пределах 800-4500 °C в зависимости от термохимических свойств шихты. Высокие температуры обеспечивают кинетическую (диффузионную) полноту взаимодействия реагентов, способствуют самоочистке от примесей. Это обеспечивает получение продуктов высокой чистоты. В то же время высокие температуры ускоряют протекание рекристаллизационных процессов и способствуют росту зерен, что снижает прочность материала. Поэтому большое значение имеет регулирование температуры горения. В практике СВС получили распространение два приема: разбавление шихты конечным продуктом (уменьшение температуры) и введение дополнительной энергии путем подогрева шихты (увеличение температуры) [9].

Большие скорости распространения волны горения вместе с высокой температурой определяют малые времена синтеза и большую производительность процесса. Типичные значения линейной скорости горения составляют 0,5-5 см/сек, а в некоторых случаях она может достигать и больших значений (до 20 см/сек). Часто в самой волне не успевают завершиться реакции синтеза, и имеет место объемное дореагирование и образование конечной структуры продуктов за фронтом горения. Но и такой процесс протекает достаточно быстро из-за высоких температур горения.

Большие скорости сгорания изменяют соотношение длительностей различных технологических стадий. Если в печной технологии синтез – одна из самых медленных стадий в общем цикле сырье – продукты, то в СВС-технологии это самая быстрая стадия. Благодаря этому обстоятельству промышленная организация СВС ставит задачу совершенствования вспомогательных операций.

## Результаты и их обсуждение.

Термодинамический анализ химико-термической обработки углерод-углеродных материалов в условиях СВС, с варьированием количественного состава легирующих компонентов, а также количества газотранспортного агента, был проведен при помощи комплекса прикладных программ «АСТРА» и «Terra». Расчеты производили в интервале температур от 100 до 1600 °C с шагом через каждые 100 °C, давление было установлено 0.1 МПа. Расчет вели для системы  $Cr_2O_3 + Al + Al_2O_3 + I_2 + NH_4Cl$  и исследуя термодинамическую возможность обмена легирующих компонентов с углеродной подложкой.

Для процесса химико-термической обработки в условиях СВС, использовали реактивы классификации «ч» и «чда». Порошки просушивали при температурах 100...400 °C на протяжении 1...2 часов в печах лабораторного типа, затем перемешивали порошки в процентном соотношении, перемешивание длилось 30...45 мин. Насыщение поверхности конструкционных материалов проводили в СВС-реакторах в условиях теплового самовоспламенения в интервале температур 900...1050 °C в течении 60 минут. Температура процесса контролировалась вольфрам-рениевой термопарой, которая была расположена в кварцевой трубке и введена в СВС-смесь. Термопара подключалась к регистратору серии КСПП-4.

Испытания на коррозионную стойкость осуществляется согласно ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7382: 2001, ИСО 11845: 1995) и ГОСТ 9.908-85 на плоских образцах 50x50 мм толщиной 3 мм. Образцы с покрытиями на исследуемых конструкционных материалах исследуются в 20% – водных растворах соляной, серной и азотной кислот (при 20 °C). Упрочненные конструкционные материалы показали увеличение коррозионной стойкости в 1,6–1,8 раза по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях

**Выводы.** Из полученных данных термодинамического и фазового анализов установлено, что формирование алитированных защитных покрытий в условиях СВС (в изученных системах порошков насыщающих шихт) на стали и бронзе происходит образование начального диффузионного слоя алюминия. Получение защитные покрытия при нестационарных температурных условиях, обеспечивает высокую коррозионную стойкость деталей, что в 1,6–1,8 раза выше по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях.

## Список литературы

1. Мержанов А.Г. Твердо-пламенное горение / Мержанов А.Г. – Черноголовка: ИСМАН, 2000. – 244 с.
2. Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. Покрытия из тугоплавких соединений. – Москва: Металлургия, 1964. – 108 с.
3. Интернет ресурс: [conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/1/12e.pdf](http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/1/12e.pdf)
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
5. Гайдаенко А. С. Влияние технологических факторов на безопасность эксплуатации конструкций зданий и

сооружений / Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь». – Вип. 7. – 2011. – С. 96–102

6. Середя Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів: Монографія / Середя Б.П., Калініна Н.С., Кругляк І.В. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА – 2004. – 230 с.
7. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology – 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. – P.825–829.
8. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / [Синярев Г. Б., Ватолин Н. А., Трусов Б. Г., Моисеев Р. К. и др.]. – М.: Наука, 1982. – 263 с.
9. Мерзханов А.Г. Процессы горения и синтез материалов / под ред. В.В. Теплы, А.В. Хачояна. – Черноголовка: ИСМАН. – 1998. – 512 с.
10. Sereda B., Sereda D. Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. Material science and technology. Columbus, Ohio, USA. 2011. – P. 1667–1671.
11. Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus, OH, USA, 2015. – P. 229–232.
12. Sereda B. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Pittsburgh. Pennsylvania, USA 2014. – P.482–486.

#### References (transliterated)

1. Merzhanov A.G. Solid-flame burning / Merzhanov AG – Chernogolovka: ISMAN, 2000. – 244 p (in Russian).
2. G.V. Samsonov, A.P. Epic. Coatings of refractory compounds. – Moscow: Metallurgy, 1964. – 108 p (in Russian).
3. Internet resource: conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/1/12e.pdf (in Russian).
4. Chemical heat treatment of metals and alloys. Directory. Borisenok G.V., Vasilyev L.A., Voroshnin L.G. and others. Moscow:

Metallurgy, 1981. – 424 p (in Russian).

5. Gaydaenko A.S. The influence of technological factors on the safety of building structures and structures operation / Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V.M. Shimanovsky – Kiev: View of "Steel". – No 7 – 2011. – P. 96–102 (in Russian).
6. Sereda B.P. Poverneve zmitsnennya material: Monographs / Sereda B.P., Kalinina N.C., Kruglyak I.V. – Zaporizhzhya: RVV ZDIA – 2004. – 230 p (in Russian).
7. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology – 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. – P.825–829 (references).
8. The use of computers for thermodynamic calculations of metallurgical processes / [Sinyarev G. B., Vatolin N. A., Trusov B. G., Moiseev R. K., et al.]. – Moscow: Science, 1982. – 263 p. (in Russian).
9. Merzhanov A.G. Combustion processes and materials synthesis / ed. V.V. Telepy, A.V. Khachoyan. – Chernogolovka: Isman. – 1998. – 512 p (in Russian).
10. Sereda B., Sereda D. Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. Material science and technology. Columbus, Ohio, USA. 2011. – P.1667–1671. (references).
11. Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus, OH, USA, 2015. – P. 229–232 (references)
12. Sereda B. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Pittsburgh. Pennsylvania, USA 2014. – P. 482–486 (references).

Поступила (received) 03.11.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Середя Борис Петрович (Середя Борис Петрович, Sereda Borys Petrovich)** – научный руководитель научно-исследовательского центра «Материаловедения и инновационных технологий», доктор технических наук, профессор Днепровского государственного технического университета, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9518-381X>; e-mail: [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

**Кругляк Ирина Васильевна (Кругляк Ирина Васильевна, Kruglyak Irina Vasilievna)** – докторант кафедры «Автомобілі та автомобільне господарство» Днепровского государственного технического университета, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9518-381X>; e-mail: [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

**Гайдаенко Александр Сергеевич (Гайдаенко Олександр Сергійович, Gaydayenko Alexander Sergeevich)** – аспирант кафедры ААГ Днепровского государственного технического университета, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56294233800>; e-mail: [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)